

ILMASTOINTIJÄRJESTELMÄN VIRTAUSMITTAUKSET RAKENNUSLABORATORIOSSA

Juuso Rinne

Opinnäytetyö
Rakennustekniikka
Insinööri (AMK)

2015

Tekniikka ja liikenne
Rakennustekniikka

Tekijä	Juuso Rinne	Vuosi	2015
Ohjaaja	Kai Ryytänen		
Toimeksiantaja	Lapin ammattikorkeakoulu Oy		
Työn nimi	Ilmastointijärjestelmän virtausmittaukset rakennuslaboratoriossa		
Sivu- ja liitemäärä	23 + 4		

Tämän opinnäytetyön tarkoitus on luoda lukijalle käsitys ilmastoinnin toimivuuden kannalta oleellisista suureista ja niiden mittaamisesta. Työn lopputuotteena oleva virtausmittausten ohjeistus antaa tarvittavat tiedot Lapin ammattikorkeakoulun rakennuslaboratorion ilmastointijärjestelmän virtausmittauksia varten, ja se toimii samalla oppimista tukevana materiaalina.

Ilmastointijärjestelmän virtausmittauksia varten on olemassa useita eri mittalaitteita ja niiden käyttäminen onnistuu myös vähemmän asiaa tuntevalta melko kivuttomasti. Saatujen tulosten analysointi ja tulkinta sen sijaan vaatii tekijältä hiukan syvällisempää ymmärrystä aiheesta. Työssä paneudutaan virtausmittausten teoriaan ja käytäntöön, jotta mittaustapahtumasta saa kokonaisvaltaisen kuvan.

Työssä esitellään muutamia virtausmittausmenetelmiä ja mittauslaitteita. Laitteiden toiminnan taustalla oleva teoria on pyritty esittämään selkeästi ja johdonmukaisesti. Työ esittelee kaksi ilmastointikonetta, Enervent Plaza ja Vallox 95 VKL, jotka ovat osana edellä mainittua rakennuslaboratorion ilmastointijärjestelmää.

Avainsanat ilmastointijärjestelmä, ilmastointilaitte, virtausmittaus, mittausohjeistus

School of Technology
Degree Programme in Civil Engineering

Author	Juuso Rinne	Year	2015
Supervisor	Kai Ryyänänen		
Commissioned by	Lapland University of Applied Sciences		
Subject of thesis	Airflow Measurement for Air Condition System		
Number of pages	23 + 4		

The aim of this thesis was to shed light on to the main quantities of ventilation technology and how to measure them. The instruction for flow measurement, which is the main product of this thesis, was made for the construction laboratory in Lapland University of Applied Sciences in Rovaniemi. The instructions can be used as learning material for the students.

There are multiple different instruments for flow measuring in air conditioning system. The usage of the instruments has been made easy even for those who know less of flow measuring. Although the analysing of the results needs more thoughtful knowledge. The purpose of this thesis was to insight the theory of flow measurement and how to do the actual measuring.

In the thesis there are few methods and instruments of flow measurement presented. There are two air conditioners presented in the thesis, Enervent Plaza and Vallox 95 VKL, which both are part of the air conditioning system in the construction laboratory mentioned earlier.

Key words

ventilation technology, air conditioner, flow measurement, measuring instructions

SISÄLLYS

1 JOHDANTO.....	2
2 ILMASTOINTILAITTEISTO.....	3
3 MITTAUSTEN TARKOITUS JA MITTALAITTEIDEN TOIMINTA.....	6
4 MITTALAITTEET JA MITATTAVIEN SUUREIDEN LASKEMINEN	8
4.1 Ilmanpaineen mittaaminen.....	8
4.2 Ilman nopeus kanavassa	9
4.3 Tilavuusvirta eli ilman virtausmäärä kanavassa.....	11
4.4 Lämpötilan mittaaminen.....	11
4.5 Ilman kosteus ja sen mittaaminen.....	12
4.6 Painehäviön laskeminen	13
5 LABORAATIOT.....	15
5.1 Virtausmittausten ohjeistus ja mittauksiin perehtyminen.....	15
5.2 Mittaukset ja mittausten modifiointi	15
6 POHDINTA	17
LÄHTEET.....	18
LIITTEET	19

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

EC	Electronic Climate control
EDA	Enervent Digital Automation
USB	Universal Serial Bus

1 JOHDANTO

Ilmastointitekniikan synty 1900-luvun alussa johtui tarpeesta muokata sisäilmaa paperikoneen painojäljen parantamiseksi. Tästä tarpeesta lähti mullistava kehitys kohti hallittua sisäilmaa, riippumatta ulkona olevasta ilmanlaadusta. Ilman kuivattaminen, kosteuttaminen, lämmittäminen ja jäähdyttäminen ovat ilmastoinnin kulmakiviä, joiden hallitsemiseksi laitteiden on toimittava oikein. Jotta sisäilma olisi halutun kaltaista, ilman muokkausta varten kehiteltyä laitteistoa on kyettävä hallitsemaan ja sen aikaansaannoksia mittaamaan. Nykyrakentamisen keskeisessä roolissa pidetty rakennuksen tiiviys on nostanut sisäilman laadun hallitsemisen tärkeään asemaan sekä asumisviihtyvyyden, että rakennusten hyvinvoinnin kannalta.

Käsittelyosassa läpikäydään muutamien keskeisimpien mittalaitteiden toimintaperiaatteet ja niiden kehityshistoria sekä toiminnan taustalla oleva teoria. Työstä ei löydy täydellistä luetteloa eri mittalaitteista, koska mittaamisen periaate on monissa laitteissa sama. Huomioon otettavaa on myös se, että kaikkia saatavilla olevia mittalaitteita ei ole standardoitu, jolloin mittaustekniset ominaisuudet voivat valmistajasta riippuen poiketa toisistaan. Tästä syystä olen keskittynyt yleisimmin käytettyihin mittalaitteisiin, jotta työ olisi yleisemmin hyödynnettävissä.

Työn tilaajana toimii Lapin ammattikorkeakoulu ja työn ohjaajana talo- ja energiatekniikan opettaja Kai Ryyänen, jonka idean pohjalta opinnäytetyö on tehty. Ammattikorkeakoulun rakennuslaboratoriossa oleva ilmastointijärjestelmä-demo ei ole vielä opinnäytetyön valmistumisen aikaan kokonaan valmis, sillä siitä puuttuvat ulko- ja jäteilmakanavat sekä ilmankostutus. Koska työn lopputuotteena oleva virtausmittausten ohjeistus liittyy juuri tähän kyseiseen järjestelmään, saatiin valtuudet suunnitella järjestelmästä puuttuvat osiot, jotta laboratoriohenkilökunnan on mahdollista toteuttaa ne oppimisympäristön kannalta toimivalla tavalla. Hahmottelupiirustus suunnitelmasta on työn liitteenä numero 3.

2 ILMASTOINTILAITTEISTO

Rovaniemellä Lapin ammattikorkeakoulun rakennuslaboratoriossa on kaksi erillistä ilmastointikonetta samassa ilmastointijärjestelmässä. Kanaviston säätöpeltien ansiosta koneita voidaan käyttää sekä yksin että yhdessä. Koneet ovat Enervent Plaza ja Vallox 95 VKL.

Enervent Plaza

Porvoolaisen Ensto Enervent Oy Ab:n valmistama Enervent Plaza (Kuvio 1) sopii ilmastointilaitteeksi omakotitaloihin ja rivitaloihin, sillä sen perusilmanvaihtokyky on suurimmillaan 409 m³. Laitteesta löytyy pyörivä lämmönsiirrin, jonka hyötysuhde on 80 %. Laite voidaan asentaa joko seinälle tai kattoon, ja järjestelmän saa sekä oikea- että vasenkätisenä. Koneen kanavien liityntäkoko on 125 mm. (Enervent 2014.)



Kuvio 1. Enervent Plaza (Enervent 2014).

Lapin ammattikorkeakoulun tapauksessa laitteen ohjaus hoidetaan EC-automaatiikalla (Kuvio 2), joka on yksinkertaisin systeemiin saatava ohjausjärjestelmä

neljällä puhallinnopeudella, pelkällä sähkölämmityksellä ja takkatoiminnolla. Vaihtoehtoisesti myös EDA- tai eAir-automatiikat (Kuvio 2) ovat mahdollisia. EDA-automatiikassa on lämmöntalteenoton säätö, jäähdytyksen lämmöntalteenotto, lämmityksen ja jäähdytyksen ohjaus ja mahdollisuus etähallintaan lisälaitteen avulla. eAir-automatiikka on edistyskellisin vaihtoehto, josta löytyy edellisten lisäksi kosketusnäyttö, kosteus- ja hiilidioksidiohjaus, trendikaavioiden siirto USB-portin kautta Exceliin ja pilvipalvelimen kautta tapahtuva etäkäyttömahdollisuus. (Enervent 2014.)



Kuvio 2. EC-automatiikka, EDA-automatiikka ja eAir-automatiikka (Enervent 2014).

Vallox 95 VKL

Loimaalaisen Vallox Oy:n valmistama Vallox 95 VKL (Kuvio 3) soveltuu pienten ja keskisuurten asuinrakennusten ilmastointiin maksimi neliömäärän ollessa 100–130 m² riippuen huonekorkeudesta. Laitteen ristivirtakennon lämmöntalteenoton hyötysuhde on 60 %. Jälkilämmitys liitetään vesikeskuslämmitykseen. Laitteisto on saatavana sekä oikea- että vasenkätisenä. Kanavakoko laitteessa on 125 mm. (Vallox 2014.)



Kuvio 3. Vallox 95 VKL (Rinne 2014).

Vallox 95 VKL-ilmastointikoneessa on erillinen ohjauskeskus (Kuvio 4), jossa on valittavana neljä eri tehoaluetta. Ohjauskeskuksen voi valita joko keskukseen integroidulla säätökytkimellä tai liesituulettimeen liitettävällä erillisellä säätökytkimellä varustettuna. Liesituulettimeen kiinnitettävällä säätökytkimellä ohjataan koko huoneiston ilmanvaihtoa, jolloin ohjauskeskukseen jää vain virta-kytkin. (Vallox 2014.)



Kuvio 4. Ohjauskeskus erillisellä liesikuvun säätökytkimellä ja ohjauskeskus integroidulla säätökytkimellä (Vallox 2014).

3 MITTAUSTEN TARKOITUS JA MITTALAITTEIDEN TOIMINTA

Ilmastointijärjestelmä on kehitetty sisätilojen ilmanlaadun muokkaamista varten. Ilmanlaadun muokkaamisen taustalla on tarve esimerkiksi kuivempaan ilmaan, kuten maailman ensimmäisessä ilmastointijärjestelmässä vuonna 1902 Brooklynnissä, jonka Willis Carrier kehitti sanomalehtipainoon ilmankosteuden hallitsemiseksi ja sitä kautta painojäljen parantamiseksi. Järjestelmän vesijäähdytteiset kelat kuivasivat ilmaa ja pitivät suhteellisen ilmankosteuden 55 %:ssa ympäri vuoden. Carrierin keksintö oli menestys ja se aloitti modernin ilmastointitekniikan kehittymisen. (Carrier 2014.)

Kuten Carrierin tapauksessakin, yleensä laitteiden toimivuus todetaan mittaamalla lopputuotteen laatua. Ilmastointijärjestelmässä lopputuotteena olevan ilman laatutekijöitä ovat ilmanpaine, ilman nopeus, virtausmäärä, lämpötila ja kosteuden määrä ilmassa. Näistä suureista ilmanpaine, tarkemmin sanottuna ilmanpaine-ero kanavan sisä- ja ulkopuolella, ei itsessään kerro muuta kuin, onko kone päällä vai ei. Sen avulla voidaan kuitenkin laskea kanavassa virtaavan ilman nopeus ja määrä jäljempänä tulevien kaavojen avulla. Lämpötila ja kosteus ovat sellaisia laatutekijöitä, joiden muokkausta varten laite on alun perin kehitetty, joten niiden mittaaminen ja hallitseminen on ensiarvoisen tärkeää järjestelmän toimivuudelle.

Pelkkä mekaaninen toimivuus ei kuitenkaan riitä kattamaan nykypäivän vaatimuksia ilmastointijärjestelmälle, vaan järjestelmän täytyy olla myös mahdollisimman äänetön. Varsinkin asuttujen tilojen asumismukavuus kärsii paljon, mikäli ilmastointijärjestelmä pitää tarpeetonta melua. Itse ilmastointikoneesta kantautuvien puhallinäänien lisäksi kanavistossa voi olla liian suurella nopeudella liikkuvan ilman aiheuttamaa ääntä. Ääniä voidaan vaimentaa kanavistoon asennettavilla äänenvaimentimilla, mutta pääasiassa kanavistosta kantautuvia ääniä hallitaan säätämällä ilman nopeutta. Lisäksi ilman nopeuden hallinta vähentää tilojen vedon tunnetta, joka omalta osaltaan parantaa asumisviihtyvyyttä.

Edellä mainittujen laatutekijöiden mittaamiseksi on kehitetty erilaisia mittareita, joiden mittausherkkyyks ja -tarkkuus ovat usein suhteessa laitteen hintaan. Joidenkin mittareiden luotettavuus voi jopa muuttua ajan myötä, jonka takia on äärimmäisen tärkeää huolehtia näiden mittareiden säännönmukaisesta kalibroinnista.

Mittalaitteiden taustalla on aina jokin fysikaalinen ilmiö, joka on saatettu erilaisilla apuvälineillä mitattavaan muotoon. Vaikka mittalaitteita on mahdollista käyttää ymmärtämättä mittaukseen vaikuttavia tekijöitä, on mittausta suorittavan henkilön hyvä tuntee taustalla oleva teoria. Teorian kautta saa viitteitä siitä, voivatko mittaustulokset pitää paikkaansa. Lisäksi virheen tapahtuessa sen paikallistaminen on huomattavasti helpompaa.

4 MITTALAITTEET JA MITATTAVIEN SUUREIDEN LASKEMINEN

4.1 Ilmanpaineen mittaaminen

Ilmanpaineen mittaaminen ilmastointikanavasta luo perustan muiden keskeisten suureiden, kuten tilavuusvirran, massavirran ja virtausnopeuden määrittelyille. Käytännössä kanavasta mitattua ilmanpainetta verrataan kanavan ulkopuolella vallitsevaan ilmanpaineeseen, ja tätä paine-eroa käytetään hyväksi edellä mainittujen suureiden laskemisessa. Myös ilmateknisten komponenttien suoritusarvojen mittaukset, kanaviston tiivysmittaukset sekä rakennusten ilmatiiviys- ja painesuhdemittaukset suoritetaan mittaamalla ilmanpainetta. Lisäksi kyseistä paine-eroa hyödynnetään ilmastointikoneiden automaatioon liittyvissä sovelluksissa, kuten kanavapaineen säädössä, suodattimien vaihtoindikaattorissa ja lämmöntalteenottosiirtimen huurtumisenestoautomaatiikassa. (Sirén 1995, 147.)

Ilmanpaine ilmanvaihtokanavassa voidaan mitata Pitot-putkella, jonka keksi Ranskalainen Henri Pitot. Kun Pitot'n alkuperäisessä laitteessa liikkuvan aineen aiheuttamaa painetta verrattiin suljettuun ilmataskuun, Ludwig Prandtl keksi muokata laitetta niin, että se näyttää mittaustilanteessa vallitsevan ilmanpaineen suljetun ilmataskun ilmanpaineen sijasta. Muokkauksen takia laitetta kutsutaan joskus myös Prandtl–Pitot -putkeksi. Prandtl'n muokkauksen ansiosta laite näyttää aina vallitsevaan ilmanpaineeseen nähden oikean paineen nousun. Keksinnön avulla mitataan lentokoneiden lennonaikaista suhteellista nopeutta ja sitä hyödynnetään myös ilmastoinnin eri suureiden mittauksissa. (Chanson 2004, 17.)

Nykyään Pitot-putkien valmistajat lupaavat mittausten virhemarginaaliksi parhaillaan $\pm 0,4$ Pa lukuarvosta, jolloin kanavassa kulkevan ilman nopeus saadaan mitattua todella tarkasti (Pietiko 2014). Virtausmittauksissa paine-erot voivat olla todella pieniä, jopa 10 Pa luokkaa. Tästä johtuen mittausten todentamukaisuutta tarkasteltaessa paine-eromittarien herkkyyks ja mittaustarkkuus ovat tärkeässä roolissa (Sirén 1995, 148).

Pitot-putken toiminta perustuu dynaamisen paineen mittaamiseen. Ilmastointikanavan dynaaminen paine saadaan vertaamalla kanavassa paikallaan olevan ilman painetta siellä liikkuvan ilman paineeseen. Koska molemmilla ilmoilla on sama staattinen paine, vähennyslaskun jälkeen tulokseksi jää vain ilman liikkeen aiheuttama dynaaminen paine.

Käytännössä Pitot'n keksimä mittalaite toimii niin, että kohtisuoraan kanavassa virtaavaa ilmaa vastaan käännettyssä Pitot-putkessa on nestettä, joka liikkuu kohti putken umpinaista takaosaa kanavassa virtaavan ilman aiheuttaman dynaamisen paineen johdosta. Putken takaosa on taivutettu pystyasentoon, jotta nesteen taakse jätetty ilmatasku ei tyhjenisi. Putken takaosan ilmatasku puristuu pienempään tilaan, koska sitä työntävä neste on puristumatonta ainetta, jota taas ilmataskussa oleva ilma ei ole. Ilmataskun tilavuuden pienentyessä nestepatsas nousee putkessa. Tätä nestepinnan nousua verrataan pinnan korkeuteen toisessa putkessa, jossa nesteelle ei aiheuteta dynaamista painetta. Korkeusero on suoraan luettavissa vanhana paineen yksikkönä metriä vesipatsasta [mvp], mutta nykyään se muutetaan vastaamaan SI-järjestelmän yksikköä Pascal [Pa]. (Ryynänen 2014.)

4.2 Ilman nopeus kanavassa

Ilman nopeuden mittaaminen ilmanvaihtokanavasta suoritetaan usein edellä mainitulla Pitot-putkella. Mittaaminen tapahtuu käyttämällä useaa eri mittauspistettä samasta kohtaa putkea. Useamman mittauspisteen käyttö perustellaan ilman turbulenttisella virtausluonteella ilmastointikanavassa. Teoriassa ilman on mahdollista kulkea kanavassa myös laminaarisena, eli tasaisena virtauksena. Käytännön laskennassa laminaarista virtausta ei ajatella ilmastointikanavistossa olevan ollenkaan, koska kanavistossa on yleensä vain vähän suoraa ja tasapaksua kanavaosuutta, jossa ilmavirtaus ehtisi tasoittua laminaariseksi ennen uutta pyörteitä aiheuttavaa komponenttia. Kanavistossa virtaavan ilman turbulenttisuutta aiheuttavat ilman suuri nopeus, kanavamateriaalin pinnan karheus, mutkat ja muut komponentit, jotka muuttavat kanavan suuntaa tai kokoa. Kanavamateriaalin pinnan karheus käsitellään jäljempänä painehäviön laskemisen yhteydessä. (Ryynänen 2014.)

Kanavassa turbulenttisesti virtaava ilma ei liiku tasaisella nopeudella. Kanavan sisäpinnassa ilman nopeus on nolla, koska kanavan pinnan kitka jarruttaa ilman liikettä. Kanavan keskivaiheilla ilman virtaus on sujuvampaa, mutta turbulenttiset pyörteet sekoittavat ilmaa samalla hidastaen sen etenemistä. Myös ilman viskositeetti hidastaa virtaamisnopeutta. Koska pyörteisen ilman nopeus vaihtelee jatkuvasti, vain usean eri mittapisteen mittausten keskiarvo antaa totuudenmukaisen tuloksen ilman nopeudesta kanavassa. (Ryynänen 2014.)

Virtausnopeuden mittaukset tulisi aina suorittaa sellaisessa kohdassa kanavaa, jossa ilmavirtaus on mahdollisimman laminaarista. Ilmavirtauksen pyörteisyys ja ilman sekoittuminen vähentyy kanaviston suorilla osuuksilla, siis pä mittaaukset tulisi suorittaa virtaussuunnassa suoran osion loppupäästä, jotta ilmamassan liike olisi tasoittunut mahdollisimman paljon.

Kun Pitot-putkella mitattu nestepatsaiden korkeusero muutetaan metreistä vesipatsasta Pascaleiksi, $1\text{ mvp} = 10\,000\text{ Pa}$, voidaan hyödyntää Bernoullin yhtälöä:

$$p_0 + \frac{1}{2}\rho v_0^2 + h_0\rho g = p_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + h_1\rho g \quad (1)$$

missä

p_0	on	staattinen paine [Pa]
ρ	on	ilman tiheys [kg/m^3]
v_0	on	ilman nopeus stationääritilassa [m/s]
h_0	on	mittauskorkeus stationääritilassa [m]
g	on	normaaliputoamiskiihtyvyys [m/s^2]
v_1	on	ilman nopeus mittaustilassa [m/s]
h_1	on	mittauskorkeus mittaustilassa [m].

Ilman nopeus v_0 stationääritilassa on nolla, mittauskorkeudet h_0 ja h_1 ovat samat ja $(p_0 - p_1)$ ilmaisee paine-eroa, joka merkitään p_2 , jolloin kaavaa voidaan muokata. (Ryynänen 2014.)

$$v_1 = \sqrt{\frac{2(p_0 - p_1)}{\rho}} \quad \Rightarrow \quad v_1 = \sqrt{\frac{2p_2}{\rho}} \quad (2)$$

4.3 Tilavuusvirta eli ilman virtausmäärä kanavassa

Tilavuusvirta on keskeinen suure ilmastointilaitteen teholuokkaa määritettäessä, sillä se asettaa raamit laitteen ja kanaviston koolle. Tilojen eri tulo- ja poistoilmavirrat on määritelty suomen rakennusmääräyksissä (RakMK 2012). Määritellyt ilmavirrat ovat vaadittavat minimi- ja niiden pohjalta lasketaan ilmastointilaitteiston tehontarve. Toisin sanoen, määritettäessä ilmastointilaitteen kokoluokkaa johonkin tiettyyn kohteeseen, laskenta aloitetaan tilojen tulo- ja poistoilmavirtojen yhteenlaskulla. Kun valinta on suoritettu ja laite saatu toimintakuntoon, voidaan suorittaa virtausmäärien koemittauksia, joilla varmistetaan suunniteltujen virtausmäärien toteutuminen.

Kun ilman nopeus on mitattu ja tiedetään kanavan koko, voidaan laskea kanavassa virtaavan ilman määrä q . (Ryynänen 2014.)

$$q = vA \tag{3}$$

missä

q	on	virtaavan ilman määrä [m^3/s]
v	on	ilman nopeus [m/s]
A	on	kanavan poikkipinta-ala [m^2].

4.4 Lämpötilan mittaaminen

Lämpömittarin toiminta perustuu putkessa olevan nesteen lämpölaajenemiseen ja termodynamiikan nollanteen pääsääntöön, jossa samassa tilassa olevat erilämpöiset kappaleet ajan myötä asettuvat samaan lämpötilaan. Lämpömittaria ympäröivän mitattavan aineen lämpötila muuttaa mittarin putkessa olevan nesteen lämpötilaa, mikä puolestaan aiheuttaa nesteessä lämpölaajenemista. Lämmitessään neste laajenee nousten putkessa ylöspäin ja jäähtyessään nesteen tilavuus pienenee ja nestepinta laskee. Nestepinnan taso ilmaisee lämpötilan jollain edellä mainituista asteikoista. Lämpömittari on usein integroituna johonkin muun suureen mittaamiseen tarkoitettuun mittalaitteeseen, jolloin yhdellä mittauksella saadaan enemmän tietoa. (Ryynänen 2014.)

Lämpötilan ilmoittamiseksi on ajan saatossa kehitetty useita eri mitta-asteikkoja. Yleisimmin käytetyistä asteikoista ensimmäisenä keksittiin Fahrenheit lämpötila-asteikko, joka on nykyäänkin käytössä Amerikassa ja muutamassa muussa maassa. Asteikon kehittäjä, Daniel Gabriel Fahrenheit, keksi elohopea-lämpömittarin ja käytti yleispätevän lämpötila-asteikon luomiseksi jää-vesi-suola-seoksen lämpötilaa, ihmisen ruumiinlämpöä ja veden kiehumispistettä. Fahrenheit'n jälkeen ruotsalainen astronomi Anders Celsius kehitti veden jäätymis- ja kiehumispisteen avulla mitta-asteikon nollasta sataan. Celsiusuksen asteikkoa mukaillen Lord Kelvin loi Kelvin-asteikon, joka lähtee absoluuttisesta nollapistestä. Maailmanlaajuisesti yleisesti käytössä oleva SI-järjestelmä käyttää Celsius ja Kelvin asteita. (Bellis 2014.)

4.5 Ilman kosteus ja sen mittaaminen

Ilmassa olevan veden määrää kuvataan kahdella eri tavalla: absoluuttisena kosteutena ja suhteellisena kosteutena. Absoluuttinen kosteus tarkoittaa veden määrää grammoina yhtä kilogramma kuivaa ilmaa kohden, eli paljonko ilmassa oleva vesi painaa. Suhteellinen kosteus ilmaisee prosentteina kuinka paljon ilman maksimivedensitomiskyvystä vettä ilmassa on. Ilman lämpötila vaikuttaa ilmankosteuden määrään ratkaisevasti, koska mitä lämpimämpää ilma on, sitä enemmän siihen pystyy sitoutumaan kosteutta. Lämpötilan laskiessa riittävästi suhteellinen kosteus nousee 100 %:iin ja osa ilmassa olevasta höyrystä tiivistyy nestepisaroiksi.

Ilmastointikanavan kosteutta mitataan sähköisellä ilmankosteusmittarilla, jonka toiminta perustuu jonkin aineen, kuten litiumkloridin, sähköresistiivisyyden muutokseen ilmankosteuden muuttuessa. (HowStuffWorks 2014.) Mittari havaitsee sähkövirran vastuksen muutoksen ja ilmaisee sen nestekidenäytöllä absoluuttisena kosteutena [g/kg]. Jos laite mittaa lisäksi lämpötilan, voi mittari ilmoittaa kosteuden myös suhteellisena ilmankosteutena [%].

4.6 Painehäviön laskeminen

Edellä mainittujen mittausten tulosten perusteella voidaan laskea ilmastointikanavan aiheuttama painehäviö, joka lisää puhaltimen tehontarvetta. Painehäviö lasketaan kaavalla:

$$\Delta p_h = \left(f * \frac{l}{d} + \Sigma k \right) \frac{\rho v^2}{2} \quad (4)$$

missä

Δp_h	on	painehäviö [Pa]
F	on	kanavan sisäpinnan kitkakerroin
l	on	kanavan pituus [m]
d	on	kanavan sisähalkaisija [m]
Σk	on	kertavastusten kertoimien summa
ρ	on	virtaavan aineen tiheys [kg/m ³]
v	on	virtausnopeus [m/s].

Painehäviön suuruus kertoo kanavassa virtaavan ilman liikettä vastustavien tekijöiden yhteisen paineen, joka puhaltimen täytyy voittaa ennen kuin ilma liikkuu koko kanavan matkalla, eli ilmaa virtaa kanaviston läpi. Laskennallinen painehäviö ei ota huomioon mahdollisia ilmapuotoja kanavistossa, joten luotettavan tuloksen saamiseksi tulee mittauksia tehdessä varmistua kanaviston eheydestä. (Ryynänen 2014.)

Kanavan sisäpinnan karheus riippuu kanavassa käytetystä materiaalista. Mitä sileämpää materiaalia on käytetty, sitä vähemmän kanavan pinta hidastaa ilman liikettä. Yleisin ilmastointikanavamateriaali on kierresaumattu pelti, joka kuuluu sileäpintaيسيimpiin kanavamateriaaleihin. Edellä olevasta kaavasta ei löydy sisäpinnan karheutta, vaan sisäpinnan kitkakerroin, joka määritetään käyttäen Moodyn diagrammia. Pinnan kitkakertoimen määrittämiseksi Moodyn diagrammista kanavasta on tiedettävä sen Reynoldsin luku, pinnan karheus ja kanavahalkaisija. (Ryynänen 2014.)

Ilman liikettä vastustavia tekijöitä ovat kanavan sisäpinnan karheus sekä kanavamutkat ja muut kanavakomponentit. Edellä mainitussa kaavassa kertavastusten kertoimien summa, Σk , tarkoittaa kanavakomponenttien aiheuttamaa

vastusta. Laitevalmistajat ovat testanneet omat tuotteensa ja antavat kanava-tuotteilleen vastuskertoimet, jotka otetaan kanavistokohtaisesti huomioon laskennassa. Lisäksi painehäviön suuruuteen vaikuttavat kanaviston pituus, kanavan halkaisija ja ilman virtausnopeus. Pientaloissa kanaviston painehäviö ei usein aiheuta toimenpiteitä, koska häviön määrä on suhteellisen pieni. Suuremmissa kohteissa kanavien koko ja kanavapituudet kasvavat, jolloin painehäviön suuruus voi johtaa kokoa suuremman puhaltimen hankintaan. (Ryynänen 2014.)

5 LABORAATIOT

5.1 Virtausmittausten ohjeistus ja mittauksiin perehtyminen

Työn lopputuotteena oleva virtausmittausten ohjeistus (liite 1) antaa ohjeet Lapin ammattikorkeakoulun rakennuslaboratorion ilmastointijärjestelmään tehtäviin mittauksiin aina alkusäädöistä mittausten modifiointiin. Ohjeistuksen alussa olevien järjestelmän alkusäätöjen kanssa tehdyt mittaukset pitää tehdä huolellisesti, sillä niitä voi käyttää vertailupohjana myöhemmin tehtäville mittauksille.

Ilmastointijärjestelmästä mittauksia tekevän henkilön on hyvä tutustua mitattavana olevaan kohteeseen ja mittalaitteisiin ennen tehtäviä mittauksia. Myös aikaisemmassa kappaleessa esitellyt kaavat on syytä tuntea, jotta saatuja mittaustuloksia voidaan hyödyntää painehäviön laskemisessa. Virtausmittauksia varten rakennuslaboratoriosta löytyy siipipyörämittari, kuimalanka-anemometri, koukkuanturi, Pitot-putki, paine-eromittari sekä monitoimimittareita, joilla voi mitata useampia suureita kerralla. Järjestelmän päätelaitteiden säätöä varten tulee käyttää vanhanmallista päätelaitteen kierroslukumittaria, jolla saadaan päätelaitteen säätömäärä senttimetreinä.

Mittaajien kannattaa perehtyä myös mittauspöytäkirjaan, liite 2, jotta mitattavat suureet ja mahdolliset kanavakomponenttiasetukset tulevat tutuiksi. Ennen mittauksia on mittaustapahtuman sujuvuuden kannalta tärkeää tehdä mittaus-suunnitelma, josta näkyy mitä mittareita käytetään mihinkin mittaukseen. Kaikki ylimääräiset ilmavuodot kanavistossa aiheuttavat virheitä mittauksiin, joten kanaviston yleinen eheys tulee tarkistaa ennen mittauksiin ryhtymistä.

5.2 Mittaukset ja mittausten modifiointi

Virtausmittaukset suoritetaan kanavistoon merkityiltä mittauspisteiltä. Alkuasetuksilla tehtyjen mittausten jälkeen kanavajärjestelmän säätöjä voi muokata haluamallaan tavalla. Säätömahdollisuuksia ovat: puhallintehon säätö, lämmitystehon säätö, ilman kosteutus sekä päätelaitteiden ja iirispeltien säädöt.

Muutoksia kannattaa tehdä maltillisesti, jopa yksi kerrallaan, jotta mahdolliset muutokset mittaustuloksissa olisi helpompi yksilöidä tietylle säädölle.

Ajatuksena mittaustilanteen modifioimisella on se, että mittaaja oivaltaa ilmastointikoneen eri säätöjen ja eri kanavakomponenttien vaikutukset mitattaviin suureisiin. Samalla laitteiston ja kanaviston säätäminen tulee konkreettisesti tutuksi. Pakkaskautena mittaajilla on eniten mahdollisuuksia muuttella mittaustilannetta, sillä kosteuteksen lisääminen tuloilmaan ja tuloilman otto sisältä lämpimästä, voidaan ajatella kesäisen ilman demonstraationa. Tällöin on mahdollista selvittää millä tavalla pakkaskauden kylmä ja kuiva ilma eroaa kesäisestä ja lämpimästä ilmasta ilmastointijärjestelmän tuloilmana.

6 POHDINTA

Työn lopputuotteena oleva virtausmittausohjeistus sisältää ohjeet ilmastointikanavasta otettavien mittausten tekoon. Mittausten suorittaminen ja mittaus tulosten analysointi vaatii mittaajalta perehtyneisyyttä, tarkkuutta sekä tietämystä itse mittaustapahtumasta. Mittaajan tulee tietää muun muassa miksi ilmastointikanavamittauksissa käytetään useita eri mittapisteitä, mitä suuruusluokkaa tulevat mittaustulokset suunnilleen ovat ja mistä mahdollista mittavirhettä kannattaa etsiä.

Ilmastointitekniikan sanotaan syntyneen ensimmäisen ilmastointilaitteen keksimisen myötä reilu sata vuotta sitten. Paljon vuosisadassa kehitysaskelia ottanut ilmastointitekniikka työllistää yhä enemmän osaajia sekä kehitys- että asennuspuolella. Myös koulutukseen panostetaan laajalti. Vaikka nykyisten ilmastointilaitteiden ominaisuudet ovatkin automatisoinnin myötä tulleet helpommin hallittaviksi kokonaisuuksiksi kosketusnäytöllisten ohjainten ja etäkäyttöisten ohjausyksiköiden takia, alaa opiskelevien on kuitenkin opittava tuntemaan ilmastointilaitteiden toiminta käytännössä, jotta laitteiston asentaminen ja ilmastoinnin suunnittelu olisi mahdollista. Tästä syystä haluan painottaa teorian tärkeyttä ilmastointikanaviston suureiden mittaamisessa, jotta opiskelijat saavat paremmin kiinni mittaustapahtumasta kokonaisuutena.

Työssäni sivutun ilmastointilaitteen historian vastapainoksi pohdin hiukan tulevaisuuden näkymiä ilmastointitekniikan saralla. Useat laitevalmistajat keskittyvät parantamaan laitteiden hyötysuhdetta ja energiatehokkuutta, ja tärkeään rooliin nousee myös laitteistojen tuotantokustannusten laskeminen. Kehittyvät markkinat Aasiassa muokkaavat tulevaisuudessa paljon maailman taloutta ja niillä markkinoilla sekä ostovoimaa että ilmastointitarvetta riittää. Tämä lisää myös ilmastointitekniikan osaajien tarvetta, johon koulutuksen määrän ja laadun on vastattava.

Uskon ilmastoinnin virtausteknisiin perusteisiin keskittyvän ohjeistukseni auttavan tulevaisuuden ammattilaisia uransa alkutaipaleella ymmärtämään sisäilman muokkaamisen ja hallinnan kokonaisuutena hiukan paremmin.

LÄHTEET

- Bellis, M. 2014. The history of the thermometer. Viitattu 7.11.2014
<http://inventors.about.com/od/tstartinventions/a/History-Of-The-Thermometer.htm>.
- Carrier, W. 2014. Carrier United Technologies. Viitattu 30.11.2014
<http://www.williscarrier.com/1876-1902.php>.
- Chanson, H. 2004. The hydraulics of open channel flow: an introduction. Second edition. Iso Britannia: Elsevier.
- Enervent. 2014. Tuotteet. Ilmanvaihto. Plaza. Viitattu 27.10.2014
<http://www.enervent.fi/unit.asp?menuid=20108&langid=1&countryid=100&modelid=13>.
- HowStuffWorks. 2014. Meteorological instruments. Hygrometer. Viitattu 27.10.2014
<http://science.howstuffworks.com/nature/climate-weather/meteorological-instruments/hygrometer-info.htm>.
- RakMK 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma. D2: Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 2012.
- Rinne, J. 2014. Lapin ammattikorkeakoulu. Valokuvia laboratoriosta. Syksy 2014.
- Ryynänen, K. 2014. Lapin ammattikorkeakoulu. Ilmastointitekniikan luennot. Kevät 2014.
- Sirén, K. 1995. Ilmastointitekniikan mittaukset. Helsinki. Tietonova.
- Vallox. 2014. Tuotteet. Vallox 75/95. Viitattu 27.10.2014
<http://www.vallox.com/vallox-75>.

LIITTEET

- Liite 1. Virtausmittausten ohjeistus
- Liite 2. Mittauspöytäkirja
- Liite 3. Hahmottelupiirustus

Liite 1 1(2). Virtausmittausten ohjeistus

Virtausmittausten ohjeistus

Alkuasetukset

1. Säädä iirispellit täysin auki.
2. Säädä päätelaitteet kokonaan kiinni.
3. Aseta kanaviston kaksi välisulkupeltiä auki-asentoon.
4. Aseta Valloxin lämmitystermostaatti kiinni.

Laitevalmistelut

1. Avaa mitattavan ilmastointilaitteen ulko-, tulo-, poisto- ja jäteilmakanavien pellit.
2. Sulje toisesta ilmastointilaitteesta kyseiset pellit.
3. Avaa ulko- ja jäteilmapellit sekä sulje kosteutuspelti.
4. Poista ulko- ja jäteilmakanavien päistä tulpat (ulkona).
5. Käynnistä ilmastointilaitte (töpseli seinään).
 - Valloxin laitteessa on/off - kytkimestä virta päälle.
 - Enerventin laitteessa ei ole off-asentoa, joten laite lähtee suoraan käyntiin.
 - Mitattaessa vain Valloxin virtauksia, irrota Enerventin virtakaapeli.

Mittaukset

1. Suorita aina aluksi mittaukset alkuasetuksilla ja kirjaa mittauspöytäkirjaan tulokset.
 - Alkuasetuksilla saadut tulokset toimivat vertailupohjana muille mittauksille.
2. Muokkaa mittaustilannetta haluamallasi tavalla ja kirjaa mittauspöytäkirjaan tulokset.
 - Puhallinteho
 - Lämmitysteho
 - Ilman kostutus
 - o Avaa kostutuspelti.
 - Päätelaitteiden säädöt (käytä vanhaa päätelaitteen kierrosmittaria).
 - Kanaviston iirispellit
 - Pakkaskaudella voi simuloida lämmintä kesäaikaa kierrättämällä sisäilmaa "ulkoilmana".
 - o Sulje ulkoilmapelti ja avaa kosteutuspelti.
 - o Sulje ulkoilmakanavan pää tulpalla.
 - Käytä molempia laitteita yhtä aikaa.
 - o Mitattaessa yhteisvirtausta avaa molempien laitteiden pellit.

Liite 1 2(2). Virtausmittausten ohjeistus

Mittausten jälkeen:

- Ilmankostutuksen jälkeen anna ilmastointikoneen käydä kuivana 15 minuuttia.
- Sammuta laitteet.
- Palauta alkuasetukset.
- Sulje ulko- ja jäteilmapellit.
- Laita ulko- ja jäteilmakanavien päihin tulpat (ulkona).

Liite 2. Mittauspöytäkirja

Mittauspöytäkirja

Mittaajat: _____

Il masto intikone: _____

Mittalaite: _____

TULO

[illegible]

POISTO

[illegible]

Liite 3.
Hahmottelupiirustus

